

*Тумашова К.И., Жилин А.С., Грачев С.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

г. Екатеринбург

*zh-al@yandex.ru*

## **ИНВАРНЫЕ СПЛАВЫ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ КОБАЛЬТОМ И УГЛЕРОДОМ**

В настоящее время в современном материаловедении особое внимание уделено развитию физики прецизионных сплавов, в частности в литературе все чаще встречаются работы по высоколегированным сплавам с особыми физико-химическими свойствами. К таким сплавам относятся системы на основе железо-никелевого и железо-никель-кобальтового твердых растворов. Данные системы дополнительно легируют такими элементами, как углерод, исключительно для повышения технологических свойств (жидкотекучесть, литейные свойства). Поведение углерода неоднозначно приводит к изменению классических физико-химических свойств анализируемых сплавов (тепловые свойства).

Анализом настоящей работы явилось исследование вопросов структурообразования сплавов и изучение теплофизических свойств. Углерод, с одной стороны, усиливает литейные свойства, позволяет получать качественные отливки из данных сплавов, а с другой – приводит к увеличенным параметрам основной служебной характеристики данных сплавов – температурного коэффициента линейного расширения. Поэтому основным направлением работы являлась разработка научных представлений поведения углерода в сплавах.

В результате работы показан вклад углерода в температурный коэффициент линейного расширения, в зависимости от его нахождения в твердом растворе или в виде несвязанной формы – графита. Наиболее повышенные значения коэффициента линейного расширения наблюдаются в состоянии, когда твердый раствор максимально насыщен углеродом. Это реализуется при кристаллизации с высокой скоростью охлаждения, либо в случае закалки от высоких температур, когда часть графита растворилась в твердом растворе. Также в результате работы показано влияние различных режимов термической обработки (одно- и двухступенчатые отжиги, закалка, закалка с низкотемпературным отпуском).

Меркушкин Е.А., Ананьин А.Н., Березовская В.В.  
 ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
 им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,  
 г. Екатеринбург  
 evgenmerk89@mail.ru

## СВОЙСТВА ВЫСОКОАЗОТИСТЫХ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ

В настоящее время известно [1], что, растворяясь в железе или других системах на основе железа, азот придает им высокий, а иногда уникальный комплекс свойств. В высоколегированных коррозионностойких сталях азот нашел широкое применение, так как он позволяет улучшить коррозионные свойства и уменьшить содержание в них дефицитных легирующих элементов. Кроме того, он благоприятно влияет на механические свойства этих сталей [2].

В работе исследовали аустенитные стали 06X18AG19M2 (1) и 07X16AG13M3 (2) после комбинированных обработок по разным технологическим схемам, включающим горячую ковку (ГК), закалку (З) в воде и старение (С), а также холодную пластическую деформацию путем прокатки в калибры (ХПД) или равноканального углового прессования (РКУП).

Таблица 1

Механические свойства исследованных сталей, обработанных по разным технологическим схемам

Сталь	Вид обработки	Скорость деформации, с <sup>-1</sup>	Среда для испытаний			
			Воздух		NaCl, 3,5 %	
			$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа
1	ГК+З (1150 °С)	10 <sup>-2</sup>	1960	970	-	-
		10 <sup>-3</sup>	2040	1030	1740	960
	ГК+З+С (500°С, 2 ч)	10 <sup>-2</sup>	2040	930	-	-
		10 <sup>-3</sup> 3×10 <sup>-4</sup>	2130 1960	1030 940	1840 -	940 -
2	ГК+З (1150 °С)	10 <sup>-2</sup>	2220	1140	-	-
		10 <sup>-3</sup>	-	-	2210	1130
	ГК+З+С (800 °С, 10 ч)	10 <sup>-2</sup>	1360	1280	-	-
		10 <sup>-3</sup>	-	-	1380	1260
	ГК+З+ХПД (ε = 0,2)	10 <sup>-2</sup>	2540	2250	-	-

Проведены испытания стойкости к питтинговой коррозии (ПК) на приборе Voltalab 10-PGZ100 по ГОСТ 9.912-89, а также механических свойств на трехточечный изгиб призматических образцов с V-образным надрезом с использованием машины Tinius Olsen H50KS. Полученные значения механических свойств показаны в табл. 1. Видно, что при одинаковых режимах обработки и условиях испытаний сталь 07X16АГ13М3 имеет более высокие значения прочности, чем сталь 06X18АГ19М2. Было изучено влияние коррозионной среды на механические свойства и показано, что при испытаниях в 3,5 %-м растворе NaCl, по сравнению с испытаниями на воздухе, значения прочности  $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$  снижаются, что связано с эффектом коррозионного растрескивания под напряжением (КРН).

Таблица 2

Коррозионные характеристики исследованных сталей  
после различных видов пластической обработки

Вид обработки	Степень деформации	Сталь 1			Сталь 2		
		$E_{по}, В$	$E_p, В$	$\Delta E, В$	$E_{по}, В$	$E_p, В$	$\Delta E, В$
ГК+З (1150 °С) + ХПД	0,2	-	-	-	1,39	1,42	-0,03
	0,4	-	-	-	1,36	1,4	-0,04
	0,8	-	-	-	1,39	1,42	-0,03
ГК+З (1150 °С) + РКУП	2,4	0,5	0,3	0,2	-	-	-
	4,8	-0,12	-0,19	0,07	-	-	-
	9,6	-0,15	-0,22	0,07	-	-	-
ГК+З (1150 °С) + ФО	-	-0,22	-0,28	0,06	-0,26	-0,34	0,08
Сталь 12X18Н10Т, (З – 1150 °С)	-	0,14	0,06	0,08	-	-	-

Показано, что исследованные стали после закалки способны к глубокой пассивации, которая нарушается с образованием питтингов только при потенциале  $E_{по} \approx 1,3 В$ . Влияние РКУП и ХПД на коррозионные характеристики исследованных сталей после закалки от 1150 °С показано в табл. 2. Видно, что сталь 07X16АГ13М3 не подвержена ПК в холоднодеформированном состоянии. РКУП стали 06X18АГ19М2 тем значительно снижало  $E_{по}$ , чем выше была степень деформации, причем, при степени деформации  $\epsilon = 2,4$  высокоазотистая сталь по-прежнему превосходила сталь 12X18Н10Т по этому параметру ( $E_{по} > 0,14 В$ ), и только после более интенсивной деформации наблюдалось смещение потенциала  $E_{по}$  в отрицательную область.

## **Выводы**

1. Исследованные стали 06X18AG19M2 и 07X16AG13M3 после закалки от 1150 °С показали высокие механические свойства:  $\sigma_B = 2040$  и 2320 МПа, и  $\delta = 44$  и 60 %, соответственно.
2. Старение при 500 °С, 2 ч незначительно повышает прочность стали 06X18AG19M2, в то время как после старения при 800 °С, 10 ч существенно снижается ее пластичность.
3. Холодная пластическая деформация прокаткой до  $\epsilon = 0,2$  значительно упрочняет сталь 06X18AG19M2 ( $\sigma_B = 2540$  МПа).
4. Обе стали имеют высокую стойкость к ПК, независимо от режимов термообработки.
5. При испытаниях в 3,5%-м NaCl сталь 07X16AG13M3 после закалки от 1150 °С оказалась менее подверженной КРН ( $\Delta\sigma/\sigma_K = 14,7$  %), чем сталь 06X18AG19M2 ( $\Delta\sigma/\sigma_K = 4,7$  %) в том же состоянии.

## **Список источников**

1. Gavriljuk V.G., Berns H. High Nitrogen Steels. Springer Verlag, Berlin, 1999. 378 p.
2. Шпайдель М.О. Новые азотосодержащие аустенитные нержавеющие стали с высокими прочностью и пластичностью // ТОМ. 2005. № 11 (605).